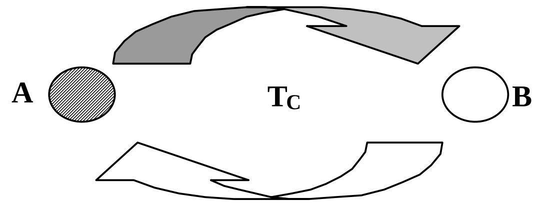
VUČNI TRAKTORI I KARETE

- nemaju sposobnost aktivnog zahvatanja
- služe za transport sa mesta utovara na mesto istovara robe
- razlike između vučnih traktora i kareta se, pre svega, ogleda u tome što karete imaju sposobnost nošenja jedinica tereta (dok je funkcija traktora samo vuča) i što su obično opremljene jačim motorima od traktora

TRANSPORNI KAPACITET I OTPORI

Obzirom da se radi o vozilima koja teret transportuju u ciklusima



izraz kojim se dobija vrednost za transportni kapacitet je

$$Q_k = \frac{T}{T_C} \cdot z \qquad [\text{kom}/\text{h}]$$

pri čemu je: *T* – vremenski period u kome se utvrđuje kapacitet vozila
T_C – srednji vermenski period trajanja jednog ciklusa
Z – broj jedinica tereta koji se prenosi jednim ciklusom

Kako se pod ciklusom podrazumeva skup operacija i radnji pri realizaciji jedne pretovarne operacije, odnosno vremenski interval između dva uzastopna zahvatanja tereta, najjednostavniji ciklus možemo predstaviti preko četriri osnovne operacije (vremena za izvršenje tih operacija).

$$T_C = t_u + t_{v_o} + t_i + t_{v_n}$$

pri čemu je: t_u – vreme potrebno za utovar tereta na vozilo
t_{vo} – vreme vožnje u opterećenom smeru
t_i – vreme potrebno za istovar tereta sa vozila
t_{vn} – vreme vožnje u neopterećenom smeru

Otpori

Pri transportu tereta vučnim traktorima i karetama javljaju se sledeći otpori:

1. Otpor kotrljanja - W_f

$$W_f = (G_n + G_s) \cdot \mu_f + z \cdot (G_{np} + G_{sp}) \cdot \mu_f$$

G_n – težina natovarenog tereta (kod traktora je 0) [N]
G_s – sopstvena težina karete (vučnog traktora) [N]
z – broj prikolica koje vuče kareta (traktor)
G_{np} – prosečna težina tereta natovarenog na prikolicu [N]
G_{sp} – prosečna sopstvena težina prikolice [N]
μ_f – koeficijent trenja kotrljanja

2. Otpor uspona - W_u

$$W_u = (G_n + G_s) \cdot \sin\alpha + z \cdot (G_{np} + G_{sp}) \cdot \sin\alpha$$

3. Otpor ubrzanja (inercije) - W_b

$$W_b = b \cdot [(m_n + m_s) + z \cdot (m_{np} + m_{sp})] \cdot \beta = \frac{v_k}{t_k} \cdot \left(\frac{(G_n + G_s) + z \cdot (G_{np} + G_{sp})}{g} \right) \cdot \beta$$

b –ubrzanje [m/s]
m_n i m_s – masa tereta i masa kolica [kg]
β – faktor uvećanja kojim se uzima u obzir inercioni momenat masa koje rotiraju
v_k – brzina konstantnog kretanja vozila [m/s]
t_k – vreme potrebno vozilu da dostigne brzinu v_k [s]

4. Otpor (strujanja) vazduha – obično se zanemaruju za brzine ispod 20km/h, kojima se kreću posmatrana sredstva

$$W_V = 0.005 \cdot A_W \cdot \frac{(v \pm v_v)^2}{13}$$

A_W – koeficijent aerodinamike vozila
v – brzina kretanja vozila [m/s]
v_v – brzina vetra [m/s]

Ukupni otpori koji se javljaju pri kretanju ovih sredstava su:

$$W_{uk} = W_f + W_u + W_b + W_V$$

ali se, ukoliko drugačije nije rečeno, otpori ubrzanja i vazduha zanemaruju, tako da se u zadacima, najčešće koristi obrazac

$$W_{uk} = W_f + W_u$$

Da bi vozilo moglo da savlada ove otpore potrebno je da bude zadovoljen uslov da mu se saopšti vučna sila koja je veća ili jednaka od ukupnih otpora. Ovaj uslov se naziva i USLOV VUČE, a može se definisati kao:

$$P_V \geq W_{uk}$$

a potrebnu snagu motora koji pokreće karetu (vučni traktor) dobijamo na bazi poznate jednačine

$$N_M = \frac{P_V \cdot v_{\max}}{1000 \cdot \eta}$$

Zadatak 1. Koliko prikolica nosivosti 1t, sopstvene mase 500kg može po ravnom putu vući vučni traktor sa snagom motora od 1kW, ako je maksimalna brzina kretanja 10km/h i sopstvena masa traktora 750kg, koeficijent iskorišćenja pogonskog mehanizma traktora – η=0.9, a koeficijent trenja o podlogu po kojoj se vozila kreću - μ_f=0.015. Koji je maksimalni nagib koji traktor vukući dozvoljeni broj prikolica može savladati?
U obzir ne uzimati otpore koji se javljaju kao posledica inercije traktora i prikolica.

REŠENJE:
Potrebna snaga motora vučnog traktora se dobija izrazom

$$N_n = \frac{P_v \cdot v_{\max}}{1000 \cdot \eta}$$

odavde sledi da je vučna sila koju definisani vučni traktor može ostvariti

$$P_v = \frac{1000 \cdot \eta \cdot N_n}{v_{\max}} = \frac{1000 \cdot 0.9 \cdot 1kW}{\frac{10}{3.36}\, m/s} = 324 \qquad [N]$$

Uslov vuče je

$$P_v \geq W_{uk} \quad \Rightarrow \quad P_v \geq W_f + W_u$$

$$P_v \geq \left[(m_s + m_n) + z \cdot (m_{sp} + m_{np})\right] \cdot g \cdot (\mu_f + \sin\alpha) \quad \Rightarrow \quad z \leq \frac{\frac{P_v}{(\mu_f + \sin\alpha) \cdot g} - (m_s + m_n)}{m_{sp} + m_{np}}$$

$$z \leq \frac{\frac{324N}{(0.015 + \sin 0^\circ) \cdot 10\, m/s^2} - (750kg + 0kg)}{1000kg + 500kg} = 0.94$$

Odakle se zaključuje da traktor pod datim uslovima ne može vući nijednu prikolicu.
Pod uslovom da ne vuče ni jednu prikolicu maksimalni nagib koji traktor može savladati je

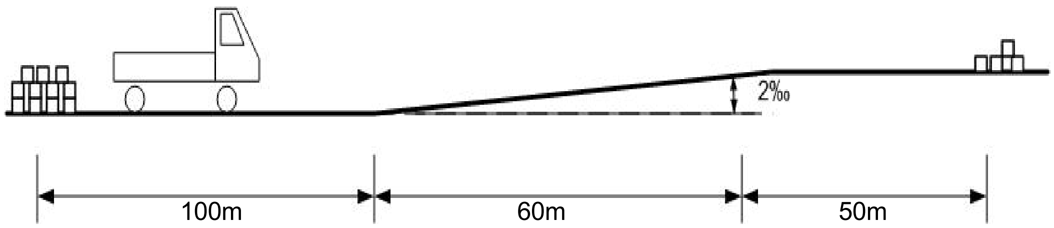
$$\sin\alpha \leq \frac{P_v}{(m_s + m_n) \cdot g} - \mu_f$$

$$\sin\alpha \leq \frac{324N}{(750kg + 0kg) \cdot 10\, m/s^2} - 0.015 = 0.0282$$

Odnosno ugao maksimalnog nagiba je

$\alpha_{\max} = 1.62^\circ$

Zadatak 2. Za transport komadne robe jedinične mase od 1000kg koristi se kareta sa motorom snage 1.8 kW (slika). Sopstvena težina karete iznosi 860kg, a nosivost karete je 1t.



a) Za koje je vreme moguće prevesti 200 komada robe na relaciji prikazanoj na slici, ako se kareta kreće prosečnom brzinom koja iznosi 70% od maksimalne koju može razviti na pojedinim delovima trase. Vremena utovara i istovara jednog komada tereta su jednaka i iznose 20s po komadu. Koeficijent iskorišćenja snage motora je 0.8, a otpor kretanja po podlozi je 0.0125.
b) Koliki je maksimalni broj opterećenih prikolica nosivosti 2t, sopstvene težine 560kg, koje ova kareta može vući krećući se brzinom od 2km/h
c) Ako kareta vuče maksimalni mogući broj prikolica, za koje će se vreme u ovom slučaju prevesti 200 komada robe

REŠENJE:

a)

određivanje ciklusa karete

Ciklus karete se sastoji od sledećih vremena

t_u – vreme utovara

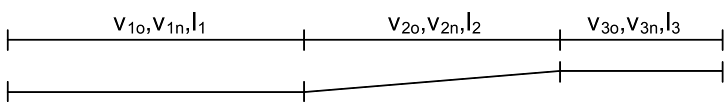
t_{vo} – vreme vožnje u opterećenom smeru

t_i – vreme istovara

t_{vn} – vreme vožnje u neopterećenom smeru

$T_C = t_u + t_{vo} + t_i + t_{vn}$

Na sledećoj slici su dati parametri potrebni za proračun vremena kretanja karete po pojedinim deonicama trase u opterećenom i neopterećenom smeru



$t_{vo} = \frac{l_1}{v_{1o}} + \frac{l_2}{v_{2o}} + \frac{l_3}{v_{3o}}$ $t_{vn} = \frac{l_1}{v_{1n}} + \frac{l_2}{v_{2n}} + \frac{l_3}{v_{3n}}$

$v_{1o} = v_{3o} = 0.7 \cdot v_{1o\max}$

$v_{2o} = 0.7 \cdot v_{2o\max}$

$v_{1n} = v_{3n} = 0.7 \cdot v_{1n\max}$

$v_{2n} = 0.7 \cdot v_{2n\max}$

Maksimalna brzina kojom kareta može da se kreće dobija se kao

$$v_{\max} = \frac{1000 \cdot \eta \cdot N_n}{P_v}$$

P_v se dobija iz uslova vuče kao

$P_v = (m_s + m_n) \cdot g \cdot (\mu_f \pm \sin\alpha)$

odnosno maksimalna brzina karete na pojedinim deonicama u opterećenom i neopterećenom smeru je

$$v_{o\max} = \frac{1000 \cdot \eta \cdot N_n}{(m_s + m_n) \cdot g \cdot (\mu_f \pm \sin\alpha)} = \frac{1000 \cdot 0.8 \cdot 1.8kW}{(860kg + 1000kg) \cdot 10 \, m/s^2 \cdot (.0125 \pm \sin\alpha)} = \frac{0.0774}{0.0125 \pm \sin\alpha}$$

$$v_{1o\max} = \frac{0.0774}{0.0125 + \sin 0^\circ} = 6.19 \quad \left[m/s \right]$$

$$v_{2o\max} = \frac{0.0774}{0.0125 + \sin 0.1146^\circ} = 5.34 \quad \left[m/s \right]$$

$$v_{n\max} = \frac{1000 \cdot \eta \cdot N_n}{m_s \cdot g \cdot \left(\mu_f \pm \sin \alpha \right)} = \frac{1000 \cdot 0.8 \cdot 1.8kW}{860kg \cdot 10\, m/s^2 \cdot \left(.0125 \pm \sin \alpha \right)} = \frac{0.167}{0.0125 \pm \sin \alpha}$$

$$v_{1n\max} = \frac{0.167}{0.0125 + \sin 0^\circ} = 13.36 \quad \left[m/s \right]$$

$$v_{2n\max} = \frac{0.167}{0.0125 - \sin 0.1146^\circ} = 15.9 \quad \left[m/s \right]$$

Brzine kojima se karete kreću su

$$v_{1o} = v_{3o} = 0.7 \cdot v_{1o\max} \quad \Rightarrow \quad v_{1o} = v_{3o} = 0.7 \cdot 6.19 = 4.33 \quad \left[m/s \right]$$

$$v_{2o} = 0.7 \cdot v_{2o\max} \quad \Rightarrow \quad v_{2o} = 0.7 \cdot 5.34 = 3.74 \quad \left[m/s \right]$$

$$v_{1n} = v_{3n} = 0.7 \cdot v_{1n\max} \quad \Rightarrow \quad v_{1n} = v_{3n} = 0.7 \cdot 13.36 = 9.35 \quad \left[m/s \right]$$

$$v_{2n} = 0.7 \cdot v_{2n\max} \quad \Rightarrow \quad v_{2n} = 0.7 \cdot 15.9 = 11.13 \quad \left[m/s \right]$$

Vremena vožnje su

$$t_{vo} = \frac{l_1}{v_{1o}} + \frac{l_2}{v_{2o}} + \frac{l_3}{v_{3o}} = \frac{100m}{4.33\, m/s} + \frac{60m}{3.74\, m/s} + \frac{50m}{4.33\, m/s} = 50.68 \quad [s]$$

$$t_{vn} = \frac{l_1}{v_{1n}} + \frac{l_2}{v_{2n}} + \frac{l_3}{v_{3n}} = \frac{100m}{9.35\, m/s} + \frac{60m}{11.13\, m/s} + \frac{50m}{9.35\, m/s} = 21.43 \quad [s]$$

Dužina ciklusa karete je

$$T_C = t_u + t_{vo} + t_i + t_{vn} = 20s + 50.68s + 20s + 21.43s = 112.11s$$

Ukupno vreme realizacije zadatka je

$$T_{uk} = n \cdot T_C = 200 \cdot 112.11s \cong 6.2 \quad [h]$$

b)

Vučna sila koju kareta može da ostvari krećući se 2km/h je

$$P_v = \frac{1000 \cdot \eta \cdot N_n}{v_{kretanja}} = \frac{1000 \cdot 0.8 \cdot 1.8kW}{\frac{2}{3.6}\, m/s} 2592 \quad [N]$$

Uslov vuče je da je vučna sila veća ili jednaka od svih otpora koji se javljaju pri kretanju karete sa prikolicama, odnosno da je

$$P_v \geq \left(m_s + m_n \right) \cdot g \cdot \left(\mu_f + \sin \alpha \right) + z \cdot \left(m_{sp} + m_{np} \right) \cdot g \cdot \left(\mu_f + \sin \alpha \right)$$

Odakle sledi ja je maksimalni broj prikolica koji kareta pod datim uslovima može vući

$$z \leq \frac{P_v - \left(m_s + m_n \right) \cdot g \cdot \left(\mu_f + \sin \alpha \right)}{\left(m_{sp} + m_{np} \right) \cdot g \cdot \left(\mu_f + \sin \alpha \right)}$$

$$z \leq \frac{2592N - \left(860kg + 1000kg \right) \cdot 10\, m/s^2 \cdot \left(0.0125 + 0.002 \right)}{\left(560kg + 2000kg \right) \cdot 10\, m/s^2 \cdot \left(0.0125 + 0.002 \right)}$$

$z \leq 6.45$

Broj prikolica koje kareta može vući je 6.

c)

Kada se u ubzir uzme da je na svakoj prikolici moguće transportovati dve jedinice tereeta i da je na samoj kareti moguće transportovati jednu jedinicu tereta, broj prevezenih jedinica tereta u jednom ciklusu je 13, a neophodan broj ciklusa za prevoženje 200 komada robe je

$$n = \frac{200}{13} = 15.38 \quad \Rightarrow \quad n = 16 \text{ ciklusa}$$

Trajanje jednog ciklusa je

$T_C = t_u + t_{vo} + t_i + t_{vn}$

Ako je brzina kretanja u opterećenom i neopterećenom smeru ista i iznosi 2km/h, vremena kretanja su

$$t_{vo} = t_{vn} = \frac{l_1 + l_2 + l_3}{v} = \frac{100m + 60m + 50m}{\frac{2}{3.6} m/s} = 378 \quad [s]$$

a vremena utovara i istovara tereta

$$t_u = t_i = 13 \cdot 20s = 260 \quad [s]$$

$$T_C = 260s + 378s + 260s + 378s = 1276 \quad [s]$$

Ukupno vreme realizacija prevoza je

$$T_{uk} = n \cdot T_C = 16 \cdot 1276s = 5.67 \quad [h]$$